



## Секція 2. Гідроімпульсні та енергозберігаючі технології енергоємних виробництв

УДК 622.232:519.87

### **ФОРМУВАННЯ МЕТОДИКИ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ СКІНЧЕННИХ РІЗНИЦЬ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ГІДРОІМПУЛЬСНИХ СИСТЕМ**

**Сліденко Віктор Михайлович**

Д.Т.Н., доцент  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

**Анотація.** В статті наведені основні модулі та зв'язки між ними, які дозволяють сформувати методику розрахунку основних параметрів функціонування гідроімпульсних систем на основі методу скінченних різниць.

**Ключові слова:** Метод скінченних різниць, гідроімпульсні системи, імпульсні навантаження, гідромолоти, алгоритм, метод Фур'є.

**Annotation.** The main modules and the links between them are presented in the article, which allow to form a methodology for calculating the basic parameters of the operation of hydro-pulse systems based on the finite-difference method.

**Keywords:** finite difference method, impulse systems, impulse loads, hydraulic breakers, algorithm, fourier method..

**Вступ.** Складовими конструкції пристроїв гідроімпульсних систем (ГІС), є елементи, які моделюються стержневими системами, пластинами, оболонками та їх комбінаціями. Складна форма таких елементів (змінний переріз, товщина), а також нелінійність звичайних диференціальних рівнянь та рівнянь математичної фізики, які описують їх рух, не завжди дозволяють використовувати аналітичні методи. Тому доцільне застосування наближених числових методів.

Слід зазначити, що в задачах з імпульсними навантаженнями виникає проблема моделювання таких навантажень (наприклад удару). Показано, що поведінка системи за умов імпульсних навантажень більш точно відображаються не диференціальними, а різницевиими рівняннями, що в більшості випадків пояснюється вибором форми імпульсу, яка описується розривною функцією, наприклад, у вигляді прямокутника [1].

В роботі [2] порівнюються властивості наступних числових методів: скінченних різниць, кінцевих елементів та Гальоркіна. Виділено основні переваги методу скінчених різниць (МСР): простий запис різницевої схеми; ефективний метод розв'язку системи лінійних рівнянь методом прогонки; спрощена процедура реалізації алгоритмів на комп'ютері (програмування). Одночасно зазначені деякі недоліки МСР: труднощі в підвищенні порядку точності; дещо більша похибка наближених розв'язків.

Побудова різницевої схеми передбачає виконання двох основних кроків: неперервна область (нескінчена множина точок) замінюється дискретною (скінченою множиною точок); диференціальний оператор апроксимується деяким різницевим оператором (похідні апроксимуються різницевиими відношеннями).

Крім цього визначається деякий різницевий аналог для апроксимації початкових та крайових умов [3].

За допомогою цих кроків відбувається перехід від задачі з диференціальним рівнянням до алгебраїчної системи рівнянь.

**Мета роботи.** Метою даної роботи є обґрунтування основних інформаційних модулів необхідних для формування методики застосування методу скінченних різниць (МСР) для дослідження та визначення основних параметрів ГІС.



**Матеріали і методи.** В роботі застосовані методи числового моделювання задач математичної фізики на основі нелінійних хвильових рівнянь, які ідентифікуються методом скінченних різниць, а також, для верифікації методу, застосуванням аналітичного методу Фур'є.

**Результати.** Для ідентифікації континуальних систем за допомогою методу скінченних різниць частіше розглядаються різницеві схеми: явна; неявна; змішана.

Для пошуку наближеного розв'язку початково-крайових задач з рівнянням коливань рекомендується застосовувати змішану різницеву схему, яка за точністю переважає прості схеми (явну або чисту неявну). Доцільно перевірити цю рекомендацію для задач з ударним навантаженням.

Важливим є коректне моделювання початкового ударного навантаження в межах початкових-крайових задач, з визначенням впливу на хвильовий процес форми розподілів початкової швидкості за перерізами стержнів.

Якщо сила співудару  $R = R(t, x)$  діє уздовж осі стержня, то рівняння коливань стержня має вигляд:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{1}{\rho} R(t, x), \quad (1)$$

де  $U(t, x)$  – переміщення перерізу стержня з координатою  $x$  відносно положення рівноваги, м;  $a$  – швидкість звуку, м/с,  $\rho$  – густина  $\text{кг/м}^3$ .

Основні блоки алгоритму розрахунку методом скінченних різниць описані нижче.

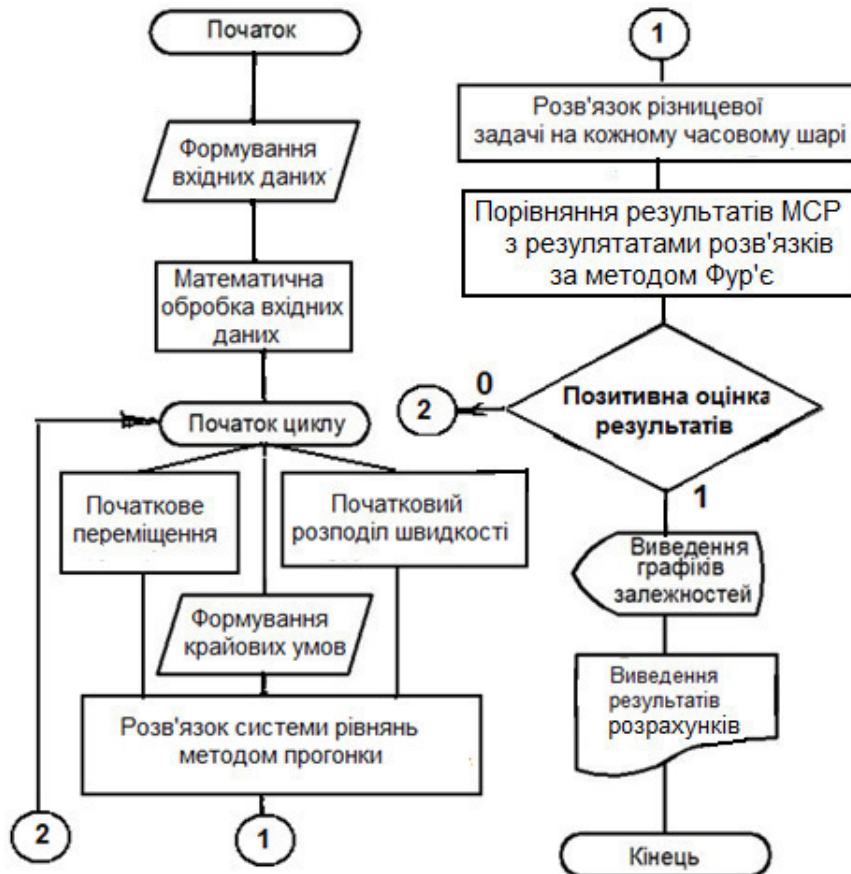
*Формування вхідних даних* передбачає опис об'єкту дослідження через аналіз конструктивної схеми та формулювання задачі досліджень.

*Математична обробка вхідних даних* передбачає параметризацію конструкції елемента ГІС з ініціалізації даних.

На рис. 1 наведена блок-схема методики формування МСР для інженерного розрахунку параметрів ударно-хвильових процесів ГІС.

Позитивна оцінка результатів дослідження виконується через порівняння розв'язків методом Фур'є та МСР для тестових задач, після чого рекомендовано застосування МСР для більш складних нелінійних задач.

Отримані залежності, метод скінченних різниць та його програмне забезпечення використані в науково-дослідній діяльності Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" при виконанні міжнародних госпдоговірних робіт з ЗАТ "Ренфорс".



**Рисунок 1 – Блок-схема методики формування МСР для інженерного розрахунку параметрів ударно-хвильових процесів ГІС**

**Висновки.** Запропонована методика формування МСР для інженерного розрахунку параметрів ударно-хвильових процесів ГІС реалізована у вигляді програмного комплексу пройшла промислову апробацію і рекомендується для широкого впровадження в дослідно-конструкторські роботи.

#### Список літератури

1. Иванов А.П. Динамика систем с механическими соударениями. Москва: Международная программа образования, 1997. 336с.
2. К.Флетчер. Численные методы на основе метода Галеркина: Пер. с англ. Москва: Мир, 1988. 352 с.
3. Сліденко В.М., Сліденко О.М. Математичне моделювання ударно-хвильових процесів гідроімпульсних систем гірничих машин: монографія. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во "Політехніка", 2018. 220 с.